جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره هجدهم، تابستان ۱۳۹۵

صص ۱۰٤ – ۸۷

بررسی تأثیرات ارتفاعات زاگرس بر چرخه عمر سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس غرب ایران

داریوش یاراحمدی[1] – دانشیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
سعید بساطی– دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
بهروز نصیری– استادیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
سمیه رفعتی- استادیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه جمال‌الدین اسدآبادی، اسدآباد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹٤/۱۱/۲   تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۲/۱۹

چکیده

در ایران موضوع وقوع مخاطرات طبیعی به‌ویژه سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس به علت افزایش تهدیدها و خسارات ناشی از آن‌ها از اهمیت بالایی برخورداراست. بدین منظور چرخه عمر سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس غرب ایران در دوره زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۵ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و شاخص تغییرات مساحت و آستانه‌های دمای درخشندگی ۲۲٤ و ۲٤۲ کلوین شناسایی گردید. با توجه به اینکه اگر سامانه‌ای از اشتقاق به وجود بیاید یا با ادغام خاتمه یابد، تشخیص مراحل چرخه عمر آن غیرممکن است؛ لذا سامانه‌هایی انتخاب شدند که بدون رخداد ادغام یا اشتقاق بودند. بنا بر اهمیت سامانه همرفتی میان‌مقیاس روز هفتم و هشتم دسامبر ۲۰۰۱، چرخه عمر و شرایط دینامیک سیکل زندگی آن به‌صورت موردی بررسی گردید و تأثیرات ارتفاعات زاگرس بر چرخه عمر آن از طریق مدل RegCM4 موردبررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد مدل قابلیت آشکارسازی اثر ارتفاعات بر چرخه عمر سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس دارد. در اجرای مرجع مراکزی از کمیت‌های تاوایی، همگرایی– واگرایی و سرعت قائم در زاگرس و غرب آن تشکیل که باعث بارش در این منطقه شده است. در مقابل در اجرای بدون کوهستان این مراکز به‌هم‌خورده و هسته بارش به شرق ارتفاعات زاگرس جابجا شده است؛ به‌گونه‌ای که سامانه در مرحله بلوغ تضعیف و در مرحله زوال، دشت‌های مرکزی ایران از بارش بیشتری برخوردار بوده‌اند. همچنین الگوی میدانی کمیت‌ها از الگوی ناهمواری‌ها تبعیت کرده است.

کلیدواژه‌ها: سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس، چرخه عمر، غرب ایران، دمای درخشندگی.

---

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱٦۱٦۵٤۲۸۱   Email: Yarahmadi@Gmail.com

۱. مقدمه

کوهستان‌ها از منابع مهم تلاطم و تغییر شکل جریانات جوی می‌باشند و می‌توانند باعث جریان صعود هوا، همچنین عامل شکل‌گیری ابرها و باران از طریق مکانیسم‌های تولیدی مانند تراکم سرا بالایی و شروع همرفت باشند. هم‌چنین آن‌ها تأثیر مهمی در تلاطم بارش منطقه‌ای و جهانی دارند (بانتا[1]، ۱۹۹۰: ۲۸۳؛ بارز و مایر[2]، ۱۹۹٤ :۲٦٥) و می‌توانند باعث ایجاد رخدادهای حدی مانند سیل مخرب شوند (پاستور و همکاران[3]، ۲۰۱۰: ۱۳۳۱).

تاکنون محققان در پژوهش‌های زیادی اقلیم و آب‌وهوای مناطق کوهستانی و علل رخداد بارش‌ها را با استفاده از روش‌های مختلف مانند مدل‌های عددی هوا و تصاویر ماهواره‌ای و غیره موردمطالعه قرار داده‌اند. ونگ و همکاران[4] (۲۰۰۲: ۱۷۲۱) بارش‌های سیل‌آسای تابستان سال ۱۹۹۸ چین را با استفاده از مدل RegCM شبیه‌سازی کردند و به مقایسه نتایج آن با داده‌های دیده‌بانی شده پرداختند. بیشترین خطای شبیه‌سازی بارش در سه ماه می، ژوئن و ژوئیه مربوط به ماه می با ٤٤ درصد اُریبی مثبت در جنوب چین، ۲۰ درصد در حوضه رودخانه یانگ تسه و ٦٤ درصد در شمال چین محاسبه شد. احمدی گیوی و همکاران (۲۰۰۵: ۱۳۷) با استفاده از مدل منطقه‌ای اقلیمی RegCM ، نقش رشته‌کوه‌های زاگرس را بر سامانه‌های جوی را در بازه‌ای چهارماهه (از اول دسامبر ۱۹۹۸ تا پایان مارس ۱۹۹۹) بررسی کرده‌اند. با حذف رشته‌کوه، میزان بارش در مناطق مرکزی و شرقی ایران افزایش می‌یابد، اما مقدار آن در کل محدوده شبیه‌سازی ثابت می‌ماند. اینسل و همکاران[5] (۲۰۰۹: ۱٤۳) با استفاده از مدل RegCM تأثیر کوهستان آند را بر همرفت، بارش و انتقال رطوبت در منطقه آمریکای جنوبی موردبررسی قرار داده‌اند. آن‌ها در این تحقیق نشان دادند که کوهستان آند تأثیرات زیادی بر انتقال رطوبت بین حوزه آمازون و آند مرکزی، فرایندهای همرفت عمیق و بارش در سراسر آمریکای جنوبی از طریق رودباد سطح پایین و انسداد توپوگرافیکی از اقیانوس آرام دارد. حجازی زاده و همکاران (۱۳۹۳: ٤٥) سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس طی ساعات بارشی و رخداد پدیده‌های مرتبط با همرفت، بر اساس آستانه‌ی دمایی ۲۲۸ درجه کلوین، آستانه‌ی بیشینه مساحت ده هزار کیلومترمربع و آستانه‌ی طول عمر ۳ ساعت، شناسایی کرده‌اند. یافته‌های این تحقیق نشان داد، بیشترین تعداد در ماه دسامبر (٥٤ مورد) رخ‌داده است و ازنظر فراوانی سال ۲۰۰٤ بیشترین سامانه همرفتی رخ‌داده است. مدیریان و همکاران (۱۳۸٤: ۱۰۷) با بررسی موردی بارش‌های تابستانه سال ۱۹۹۵ نشان دادند که شبیه‌سازی بارش‌های تابستانه جنوب شرق ایران با استفاده از طرح‌واره امانوئل، پاسخ بهتری در مقایسه با سایر طرح‌واره‌های بارش همرفتی دارد. سلطان‌زاده و همکاران (۱۳۸٦: ۳۱) نشان دادند که با حذف رشته‌کوه زاگرس در مدل

---

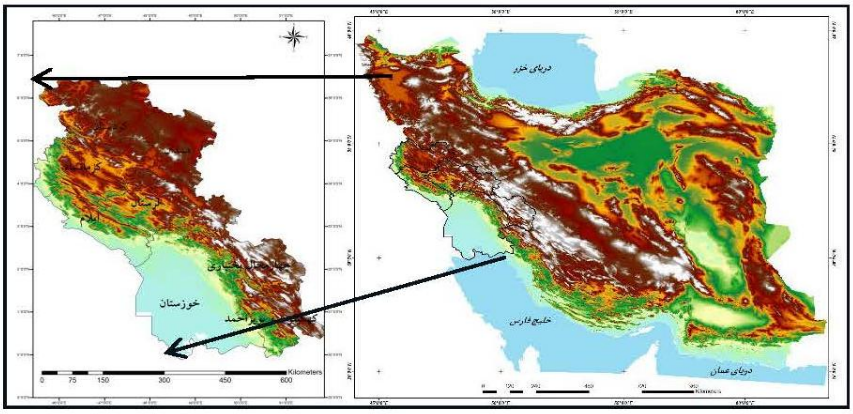
1 Banta
2 Barros and maier
3 pastor et al
4 Wang et al
5 Insel et al

RegCM3، میانگین بارش در مناطق مرکزی و شرق ایران افزایش می‌یابد، ولی میزان بارش در کل محدوده شبیه‌سازی‌شده تقریباً ثابت می‌ماند. مدیریان و همکاران هم‌چنین در پژوهش دیگری (۱۳۸۸: ۱۰۷) تحت عنوان پیکربندی بهینه مدل RegCM3 برای شبیه‌سازی بارش و دما در فصل پاییز منطقه خراسان ثابت کردند که کمترین میانگین اریبی فصلی نسبت **به** بارش واقعی به میزان ۷/۱– میلی‌متر در طرح‌واره کو وجود دارد. تاج‌بخش و همکاران (۱۳۸۸: ۱٤۷) ضمن بررسی الگوهای بزرگ‌مقیاس جو در بررسی‌های موردی، با تحلیل برخی از مهم‌ترین خروجی‌های مدل منطقه‌ای MM5 با درجه تفکیک ۳۵ کیلومتر برای پیش‌بینی توفان تندری، از آن‌ها در درخت تصمیم‌گیری استفاده‌شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که شاخص‌های بزرگ‌مقیاس وقوع توفان تندری مشابه غالب ناپایداری‌های جوی است و پیش‌بینی این پدیده نیازمند اجرای مدل‌های میان‌مقیاس است.

بررسی پژوهش‌های مذکور نشان داد که تاکنون شرایط و ویژگی‌های سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس و تأثیرپذیری چرخه عمر آن‌ها از ارتفاعات موردمطالعه قرار نگرفته است. از طرفی رشته‌کوه زاگرس واقع در غرب فلات ایران، ازجمله رشته‌کوه‌های وسیعی است که با گستره شمالی– جنوبی خود در مسیر جریان‌های مداری قرار دارد و می‌تواند آن‌ها را تحت تأثیر قرار دهد. بدین منظور بررسی علل تأثیر متفاوت سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس از ارتفاعات زاگرس و تحلیل شرایط دینامیک چرخه عمر آن‌ها با استفاده از آستانه دمای درخشندگی، شاخص تغییرات مساحت (ΔE) و مدل عددی RegCM4 اهداف اصلی این پژوهش می‌باشد.

۲. منطقه مورد مطالعه

چون سامانه‌ها در خارج از ایران شکل‌گرفته‌اند؛ لذا مشخصات جغرافیایی محدوده موردمطالعه از ۲۳ تا ۳۹ درجه عرض شمالی و از ۳۸ تا ۵۹ درجه طول شرقی را پوشش می‌دهد. قلمرو اصلی این پژوهش مساحت ۲۲۰۰۰۰ کیلومترمربعی محدوده غرب کشور را دربرمی گیرد که شامل استان‌های کرمانشاه، کردستان، همدان، لرستان، خوزستان، کهگیلویه و بویراحمد، ایلام و چهارمحال بختیاری می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱ منطقه موردمطالعه

۳. مواد و روش‌ها

با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس شناسایی و چرخه عمر آن‌ها شناسایی گردید. تصاویر مورداستفاده در این تحقیق محصولات دمای درخشندگی حاصل از باند مادون‌قرمز ماهواره‌های زمین آهنگ متئوست، GOES و GMS می‌باشد. در این پژوهش برای شناسایی سامانه‌های همرفتی بر اساس پیشنهاد مورل و سنسی[1] (۲۰۰۲: ۱۹۵۳) از آستانه مساحت ۱۰۰۰ کیلومترمربع استفاده شد و سامانه‌هایی به‌عنوان MCSs انتخاب شدند که مساحتی بیش از ۱۰۰۰۰ کیلومترمربع (در مرحله بلوغ) و طول عمری بیش از ٦ ساعت داشته‌اند.

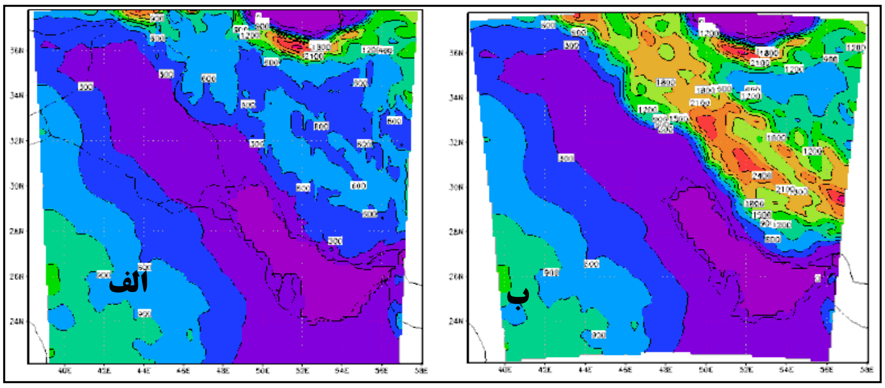
با توجه به اینکه اینوی و همکاران[2] (۲۰۰۹: ۳۸۱) اثبات کردند که اگر از یک آستانه سردتر یا گرم‌تر استفاده کنیم ممکن است هم مرحله شروع و هم مرحله پایانی همرفت عمیق چرخه عمر را نشان ندهد. هم‌چنین مورل و سنسی (۲۰۰۲: ۱۹۵۳) نتیجه‌گیری نمودند که مسیرهای به‌دست‌آمده در هر آستانه دمایی بین 243 تا 223 کلوین دقیق است؛ درنتیجه در این پژوهش از آستانه‌های دمای درخشندگی ٢٢٤ و ٢٤٣ کلوین (فوتیان و جنیو[3]، ۲۰۰۷: ۵۰٤۳؛ ولاسکو و فریتچ[4]، ۱۹۸۷: ۹٦۱۳) برای شناسایی و تحلیل مراحل چرخه عمر سامانه‌ها استفاده شد. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های ایستگاهی تلاش شد روزهایی برای این مطالعه انتخاب شود که طی آن سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاسی تشکیل‌شده باشند که بدون رخداد ادغام یا اشتقاق مراحل چرخه عمر خود را گذرانده‌اند؛ علت انتخاب چنین سامانه‌هایی با این شرایط این است که سامانه‌ای که از تقسیم به وجود بیاید یا با ادغام خاتمه یابد تشخیص مراحل چرخه عمر آن سخت و تا حدودی غیرممکن است (فوتیان و جنیو، ۲۰۰۷: ۵۰٤۱؛ سیلوا دیاس و همکاران[5]، ۲۰۰۲: ۸۰۷۲). پس از انتخاب سامانه‌ها، در محیط ENVI با استفاده از آستانه دمای درخشندگی ٢٢٤ کلوین سامانه‌های همرفتی شناسایی شدند. با انتقال این سامانه‌ها به محیط GIS با استفاده از شاخص تغییر مساحت (ΔE) که اعتبارسنجی و پایایی آن توسط ویلا و همکاران[6] (۲۰۰۸: ۲۳۳) تائید و به اثبات رسیده است مراحل چرخه عمر سامانه شناسایی شد (رابطه ۱).

$$\Delta E = \frac{1}{A}\frac{\delta A}{\delta t} \qquad (۱)$$

1 Morel and Senesi
2 Inoue et al
3 Futyan and Genio
4 Velasco and Fritsch
5 Silva et al
6 Villa et al

که A مساحت سامانه در زمان داده‌شده (T_{ir} <۲۲٤) می‌باشد. مقادیر مثبت فرایند توسعه و رشد سامانه و مقادیر منفی کاهش اندازه سامانه را نشان می‌دهد؛ به عبارتی، در شروع زندگی سامانه افزایش مساحت مثبت شدیدی وجود دارد. پس از شناسایی سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس غرب ایران، سامانه‌ی همرفتی میان‌مقیاس روز ۷ و ۸ دسامبر ۲۰۰۱ به دلیل عدم تأثیرپذیری از سایر سامانه‌های این روز، گستردگی و استقلال سیکل زندگی به‌عنوان مطالعه موردی انتخاب و مراحل سه‌گانه چرخه عمر آن با استفاده از آزمون‌های عددی مدل RegCM4 به‌تفصیل مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. ساختار داخلی و جزییات مدل RegCM را ایران‌نژاد و همکاران (۱۳۸۸: ۱۰۱) و باباییان و همکاران (۱۳۸٦: ۵۵) شرح داده‌اند. داده‌های موردنیاز از داده‌های دوباره تحلیل‌شده مرکز ملی پیش‌بینی‌های محیطی/ مرکز ملی پژوهش‌های جوی (NCEP/NCAR) و باقدرت تفکیک افقی ۲/۵ درجه اخذ گردید. ازآنجاکه هدف مطالعه حاضر بررسی اثر زاگرس بر شبیه‌سازی‌های مدل است، به‌منظور نمایش دقیق‌تر نتایج، این محدوده به شکلی انتخاب‌شده که مرکز آن با مختصات ۳۲ شمالی و ٤۸ شرقی بر ارتفاعات زاگرس و سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس واقع شود (شکل ۱). شبیه‌سازی‌ها بر شبکه‌ای با تفکیک افقی ۱۰ km و گام زمانی ۳۰ ثانیه صورت گرفته است.

ایران‌نژاد و همکاران (۱۳۸۸: ۱۰۱)، مدیریان و همکاران (۱۳۸۸: ۱۰۷) و باباییان و همکاران (۱۳۸٦: ۵۵) نتیجه گرفتند که بهترین طرح‌واره برای بارش‌های همرفتی جنوب غرب و غرب کشور طرح‌واره کو- آنتس می‌باشد. درنتیجه در این پژوهش از طرح‌واره کو با اجراهای مختلف برای بررسی تأثیرات رشته‌کوه زاگرس بر چرخه عمر سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس استفاده شد. در مرحله‌ی اول مدل با تمامی داده‌های واقعی اجرا شد. سپس با توجه به هدف تحقیق، رشته‌کوه زاگرس و همچنین کوه‌های مرکزی ایران از داده‌های توپوگرافی حذف و مدل دوباره اجرا گردید. در بررسی‌ها، اجرای یکم در حکم اجرای مرجع در نظر گرفته‌شده و نتایج اجرای دیگر با آن مقایسه شده است. در حذف توپوگرافی از کار زرین (۱۳۸٦: ۵۲) و سلطان‌زاده (۱۳۸٦: ۳۱) استفاده‌شده است (شکل ۲). مقایسه نتایج اجرای یکم و دوم می‌تواند تأثیر توپوگرافی زاگرس بر الگوهای محلی و منطقه‌ای سامانه‌های جوی ایران و تغییرات پارامترهای تاوایی، هم‌گرایی، بارش و سرعت قائم را نشان دهد.



شکل ۲ توپوگرافی مدل الف. اجرای مرجع ب. اجرا پس از حذف رشته‌کوه زاگرس و کوه‌های مرکزی ایران

٤. بحث و نتایج

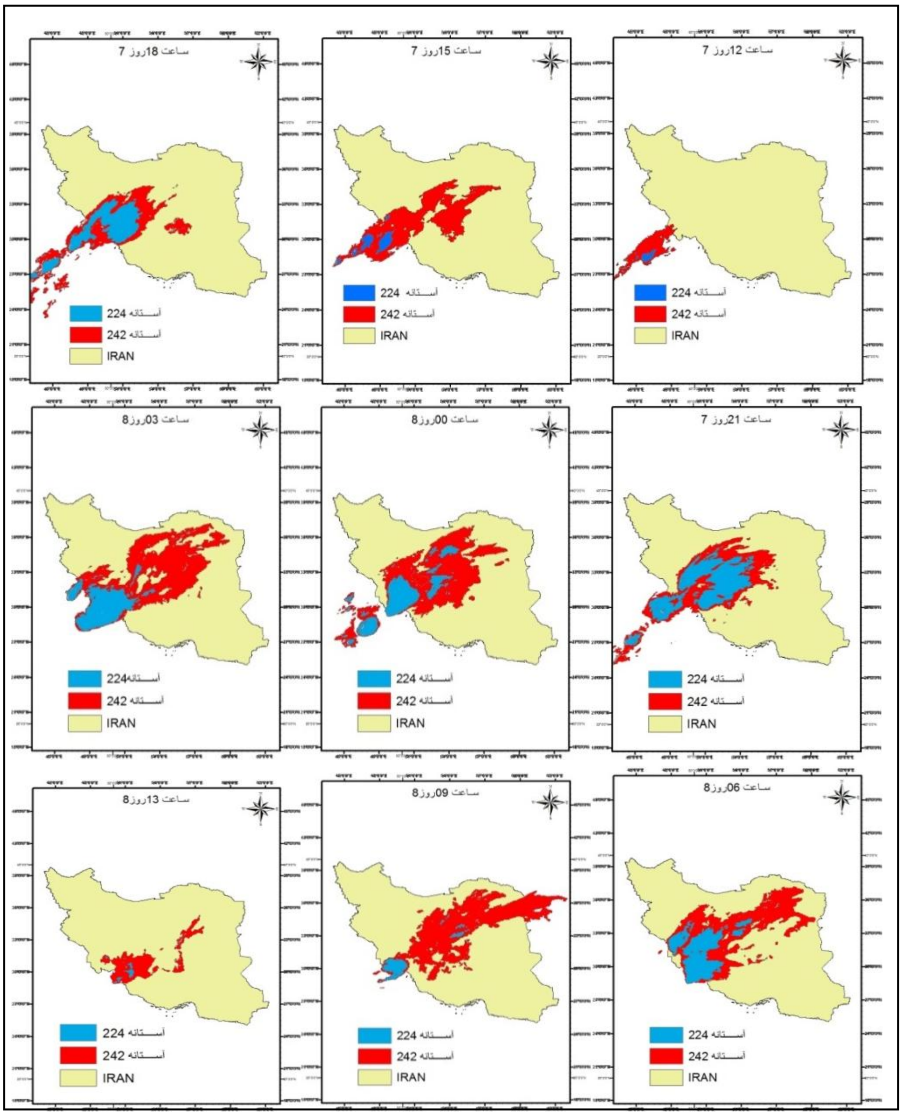
اگرچه سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس موردمطالعه بدون ادغام و اشتقاق ازنظر دامنه گسترش و شدت تفاوت‌هایی با همدیگر داشتند، ولی مکانیسم شکل‌گیری و ویژگی‌های مربوط به پارامترهای رفتاری و چرخه عمر آن‌ها تشابه زیادی باهم نشان می‌دادند. درنتیجه پس از بررسی سامانه‌های بدون ادغام و اشتقاق، سامانه هفتم و هشتم دسامبر ۲۰۰۱ (شانزدهم و هفدهم آذرماه ۱۳۸۰) به دلیل عدم تأثیرپذیری از سایر سامانه‌های این روز به‌صورت موردی بررسی و در ادامه کار، سیکل زندگی، ویژگی‌ها و شرایط دینامیکی چرخه عمر، هم‌چنین تغییرات سامانه هنگام برخورد با ارتفاعات زاگرس تحلیل شد.

الف. شناسایی چرخه عمر

سامانه همرفتی میان‌مقیاس روز هفتم و هشتم دسامبر ۲۰۰۱ در ساعت ۱۵ روز هفتم در جنوب عراق شکل گرفت و از جنوب غرب وارد کشور شده و با مساحت ۲۷٦ هزار کیلومترمربع و جهت جنوب غربی – شمال شرقی و با طول عمر ۱۸ ساعت پس از طی مسیر هشت‌صد و شصت‌وسه کیلومتر در ساعت ۹ روز هشتم در برخورد با ارتفاعات زاگرس زوال یافته است.

شکل ۳ چرخه روزانه سامانه همرفتی میان‌مقیاس مذکور برای هر دو آستانه دمای درخشندگی ۲۲٤ و ۲٤۲ کلوین را باهم مقایسه می‌کند. لازم به توضیح است که آستانه ۲۲٤ کلوین سلول‌ها و خوشه‌های همرفتی سردتر احاطه‌شده در داخل آستانه ۲٤۲ کلوین را نشان داد؛ درحالی‌که دمای درخشندگی ۲٤۲ کلوین سامانه همرفتی که شامل ابرهای همرفتی و غیرهمرفتی (استراتیفرم) می‌باشد نمایش داد. مساحت سامانه در آستانه دمای درخشندگی ۲٤۳ کلوین (غیر همرفتی) درگذر از زاگرس تغییرات چندانی نداشته است درنتیجه ارتفاعات زاگرس بر سامانه غیر همرفتی تأثیر چندانی نداشته است؛ اما سامانه همرفتی میان‌مقیاس در آستانه ۲۲٤ کلوین با برخورد به ارتفاعات زاگرس تبدیل به دو هسته شده است (ساعت ۲۱ روز ۷ و ۰۰ روز ۸) که هسته جلویی با عبور از زاگرس دچار زوال شده ولی هسته عقبی با برخورد به زاگرس

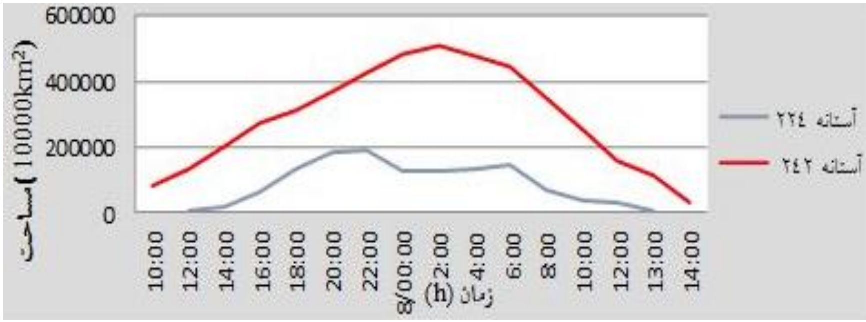
دچار سکون و حتی تقویت‌شده و مساحتش نیز افزایش‌یافته است و باعث فعالیت مداوم آن از ساعت ۱۷ روز ۷ تا ساعت ٦ روز ۸ شده است. روند زوال این هسته در دامنه‌های غربی زاگرس بعد از ساعت ٦ روز ۸ بوده است.



شکل ۳ چرخه روزانه پوشش ابر وسعت سلول‌های همرفتی در گام‌های زمانی متوالی ۱ ساعته

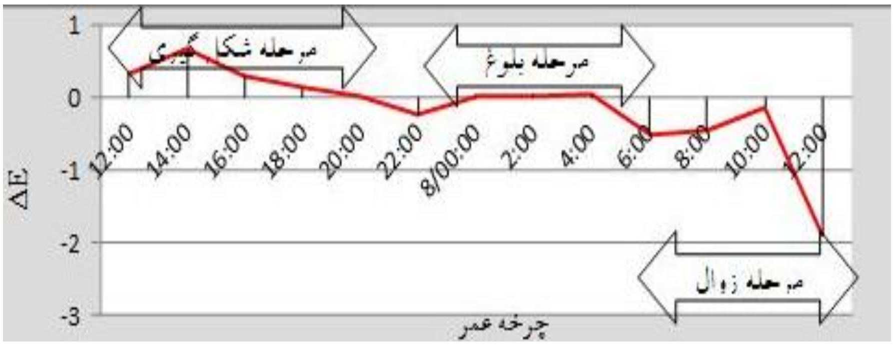
خوشه‌ها و سلول‌های همرفتی آستانه دمای درخشندگی ۲۲٤ کلوین در ساعت ۱۳ روز هشتم دسامبر از بین رفته‌اند؛ ولی کل سامانه که با آستانه دمای درخشندگی ۲٤۳ کلوین آشکار شد تا چند ساعت بعد به فعالیت خود ادامه داده است که نشان می‌دهد ابرهای سردتر با دمای درخشندگی پایین‌تر قبل از زوال سامانه از بین می‌روند و بارش همرفتی قطع می‌شود. از طرف دیگر نابودی سامانه در آستانه ۲٤۲ کلوین نسبت به

۲۲٤ کلوین ۳ ساعت تأخیر زمانی دارد. این شرایط در هنگام شکل‌گیری سامانه برای آستانه ۲۲٤ کلوین حاکم است یعنی ابتدا سامانه قبل از سلول‌های همرفتی تشکیل، سپس ابرها ارتفاع گرفته و سلول‌های همرفتی به وجود آمده و به دنبال آن بارش همرفتی رخ‌داده است (شکل ٤).



شکل ٤ تغییرات مساحت سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس در دو آستانه ۲۲٤ و ۲٤۲ کلوین

شکل ٥ مراحل سه‌گانه شکل‌گیری، بلوغ و زوال سامانه همرفتی میان‌مقیاس هفتم و هشتم دسامبر ۲۰۰۱ و ساعات فعالیت هر مرحله با استفاده از شاخص ΔE نمایش داده است. مقادیر مثبت بزرگ‌تر نشان‌دهنده مرحله رشد، مقادیر نزدیک به صفر مرحله بلوغ و مقادیر منفی نشانه مرحله مرگ و زوال سامانه می‌باشد. روند ناگهانی کاهش ΔE سامانه در مرحله زوال نسبت به روند کند افزایش ΔE در مرحله شکل‌گیری نشان می‌دهد که سامانه همرفتی به افزایش ارتفاع حساس بوده است و این وضعیت تأثیر ارتفاعات را در بلوغ و زوال سامانه نشان می‌دهد.



شکل ٥ آشکارسازی مراحل چرخه عمر سامانه همرفتی ۷ و ۸ دسامبر ۲۰۰۱ از طریق شاخص ΔE

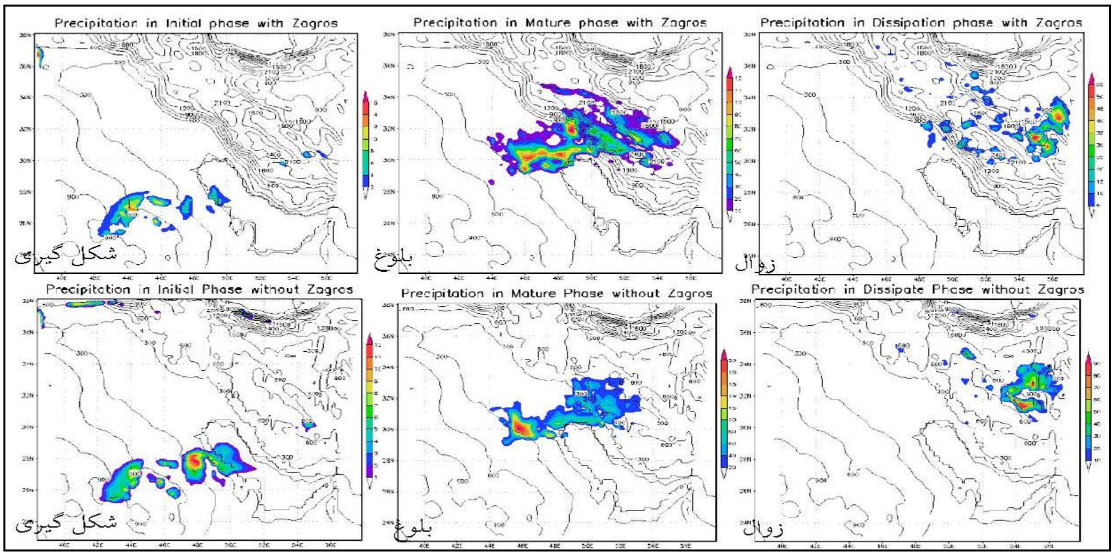
ب. برهمکنش چرخه عمر و پارامترها

بعد از آشکارسازی چرخه عمر و رفتار روزانه آن، به‌منظور تأثیر کوهستان بر چرخه عمر سامانه، متغیرهایی مانند بارش، تاوایی، امگا و همگرایی موردبررسی قرار گرفت. نقشه‌های شبیه‌سازی‌شده مدل RegCM4 با نقشه‌های واقعی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای مقایسه و اعتبارسنجی شده‌اند. مقایسه نقشه‌های

شکل ۳ (تصاویر ماهواره‌ای) و شکل ٦ (شبیه‌سازی‌شده توسط مدل) نشان می‌دهد انطباق مطلوبی بین موقعیت سامانه و بارش آن و نقشه‌های شبیه‌سازی‌شده وجود دارد و نتایج قابل‌قبول بوده است؛ درواقع مدل توانسته موقعیت سامانه و مقادیر بارش در مراحل چرخه عمر را به‌خوبی شبیه‌سازی نماید.

بارش

شکل ٦ الگوی شبیه‌سازی بارش همرفتی مراحل سه‌گانه چرخه عمر سامانه همرفتی را از ساعت ٦ روز ۷ دسامبر تا ساعت ۲۰ روز ۸ دسامبر سال ۲۰۰۱ نشان می‌دهد. چنانچه در شکل مشاهده می‌شود در مرحله شکل‌گیری ازنظر میزان بارش تفاوت زیادی بین دو اجرا وجود نداشت؛ اما محل جغرافیایی بارش تغییر کرده به دلیل عدم‌تغییر توپوگرافی و ارتفاع کم این مناطق، تغییرات پراکنش و مقادیر بارش‌های هردو اجرا تفاوت‌های زیادی باهم ندارند. در هر دو اجرای این مرحله، مقادیر بیشینه بارش را می‌توان روی مناطق شمالی عربستان و همچنین جنوب عراق مشاهده کرد. این وضعیت در مرحله بلوغ کاملاً برهم‌خورده و نقش کوهستان در نحوه شکل‌گیری میدان‌های بارش به‌خوبی مشاهده می‌شود و بارش از الگوی ارتفاعات تبعیت کرده‌است. در اجرای مرجع بارش بر مناطق مرتفع‌تر زاگرس متمرکز بود؛ درحالی‌که در اجرای حذف رشته‌کوه بر مقدار بارش مناطق مرکزی ایران افزوده‌شده و از مقدار آن در منطقه زاگرس و دامنه‌های غربی آن کاسته شده است. همین‌طور بارش در وسعت بیشتری رخ‌داده و عمدتاً به‌سوی شرق متمرکزشده است. همان‌طور که از مقایسه شکل‌های فوق مشاهده می‌شود، با حذف رشته‌کوه زاگرس، بارش در نواحی رو به باد کوه کاهش‌یافته است؛ علت چنین وضعیتی شرایط مساعد برای تشکیل امواج لی و درنتیجه صعود بیشتر هوا روی کوه در اجرای مرجع نسبت به اجرای پس از حذف ناهمواری‌هاست. همچنین به دلیل کاهش اثر عامل واداشت کوهستان در صعود هوا با حذف ارتفاع ناهمواری‌ها در اجرای دوم، بارش در مناطق غربی زاگرس کاهش‌یافته است.



شکل ٦ بارش همرفتی در مراحل چرخه عمر: ردیف اول اجرای مرجع و ردیف دوم اجرای بدون ارتفاع

علت کاهش بارش اجرای حذف کوهستان در نواحی غربی زاگرس نیز می‌تواند انسداد جریان‌های ناوه به‌واسطه کوه باشد چون با حذف ارتفاع در اجرای دوم، این انسداد جریان به میزان قابل‌توجهی کاهش می‌یابد. درنتیجه بارش بیشینه به سمت شرق زاگرس و دشت‌های مرکزی ایران کشیده می‌شود. در اجرای حذف توپوگرافی زاگرس (اجرای دوم)، جریان‌های جوی پس از عبور از مناطق غربی ایران بدون اینکه رطوبت قابل‌توجهی از دست دهند، با ارتفاعات مرکزی ایران برخورد و در اثر صعود و رسیدن به اشباع، شروع به بارش کرده‌اند؛ بنابراین کوهستان بر بارش همرفتی اثرگذار بوده است که کاهش بارش همرفتی پس از کاهش ارتفاع رشته‌کوه زاگرس در نقاط واقع در پشت به باد کوه بیشتر است.

اختلاف بارش دو اجرا در نقشه‌های مربوط به تفاضل گیری بارش همرفتی که به علت کمبود فضا حذف‌شده‌اند، نیز به‌خوبی قابل‌مشاهده بودند. ازنظر ناهنجاری‌ها، وجود دو هسته مثبت و دو هسته منفی از غرب به شرق در مرحله بلوغ و گسترش بارش به مرکز ایران در هنگام حذف رشته‌کوه زاگرس مهم‌ترین خروجی نقشه‌های میدان تفاضلی بود. در مرحله زوال هسته‌های منفی و مثبت این نقشه‌ها به یک هسته مثبت تبدیل و به سمت شرق در دشت‌های مرکزی ایران جابجا شده است.

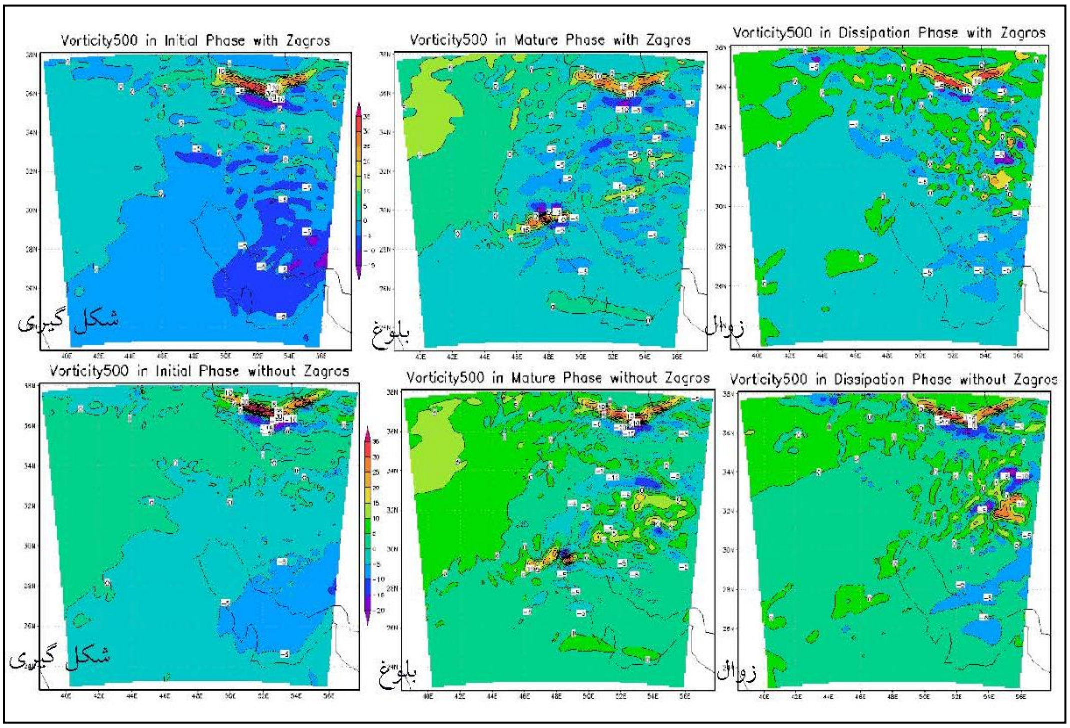
تاوایی و همگرایی

با توجه به نقش توپوگرافی در ایجاد مراکز تاوایی مثبت و منفی و همچنین هم‌گرایی و واگرایی در سطوح مختلف جو، بررسی میدان‌های تاوایی و هم‌گرایی نیز می‌تواند در درک کیفی قابلیت‌های مدل در آشکارسازی اثر توپوگرافی مفید باشد. البته در جو واقعی به دلایل مختلفی مانند حضور گرمایش دررو،

اصطکاک سطح، پیچیدگی شکل توپوگرافی، یکنواخت و ثابت نبودن جهت جریان‌ها، نمی‌توان انتظار ایجاد الگوی منظم و ایدئالی را در الگوی این مراکز داشت (هولتن[1]، ۲۰۰۴: ۵۵۰). علاوه بر موارد فوق تأثیر بسیار مهم ناوه سطوح ناهموار بر عوامل سطوح زیرین و برهم‌کنش بین آن‌ها منجر به پیچیده‌تر شدن الگوی موردنظر می‌شود. شکل ۷ مقادیر تاوایی مراحل چرخه عمر سامانه همرفتی میان‌مقیاس را در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد. به علت یکنواخت بودن جریان، تاوایی نسبی پیش از برخورد با کوه صفر شده است. با نزدیک شدن جریان به کوه و در دامنه آن تاوایی نسبی افزایش یافت و مقدار آن مثبت شد. این تغییر در حوالی دامنه رشته‌کوه بوده است در ادامه حرکت و صعود از ارتفاعات علامت تاوایی به‌گونه‌ای تغییر کرد که در قله کوه، تاوایی کاملاً منفی شده است که تا دامنه‌های شرقی زاگرس و دشت‌های مرکزی ایران ادامه یافته است. به عبارتی، نواحی تاوایی منفی از شرق زاگرس تا دشت‌های مرکزی و شرقی ایران به شکل نوار پهنی امتداد داشته است؛ بنابراین در اجرای مرجع، در زاگرس و دامنه غربی آن، مراکز و نواحی مثبت تاوایی شکل‌گرفته است که کل دامنه رشته‌کوه را از شمال غربی تا جنوب شرقی دربر گرفت. درحالی‌که در اجرای بدون کوهستان به دلیل حذف ارتفاعات شرایط فوق به‌هم‌خورده و شرایط جدیدی برای تشکیل مراکز تاوایی و همگرایی- واگرایی در شرق زاگرس ایجاد شد؛ درنتیجه در مرکز و شرق ایران مراکزی از تاوایی مثبت مشاهده می‌شود.

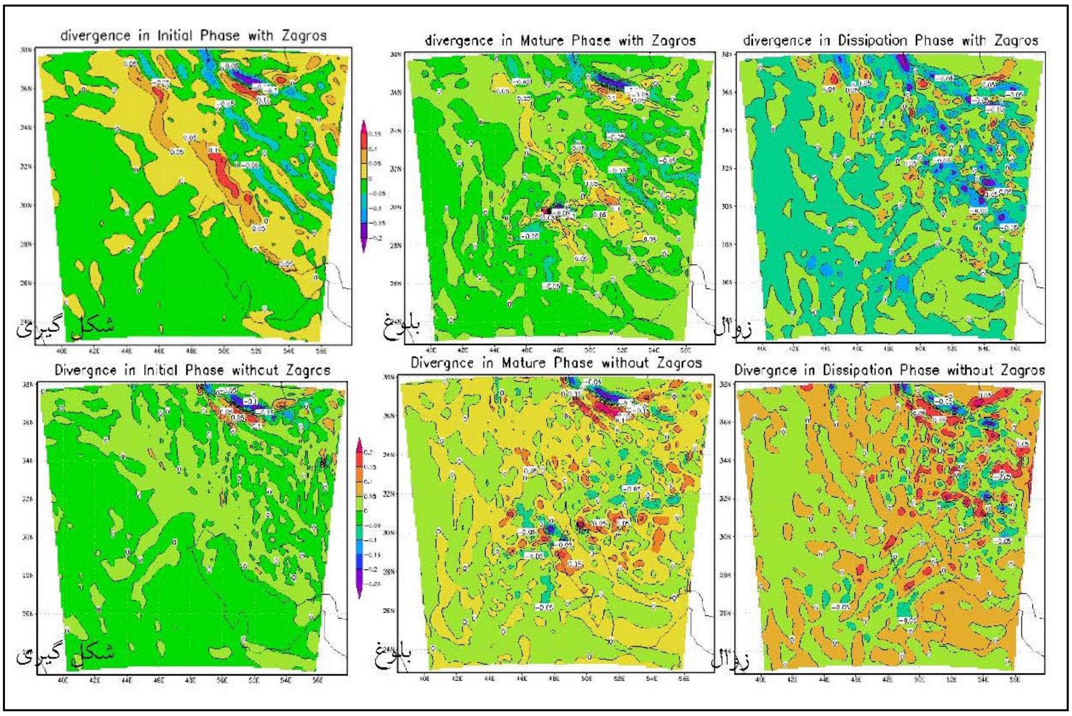
در اجرای مرجع مرحله شکل‌گیری، تاوایی منفی بر مناطق مختلف منطقه موردمطالعه حکم فرماست؛ اما در مرحله بلوغ با رسیدن به ارتفاعات تاوایی مثبت در منطقه ایجادشده و هر چه بر ارتفاع افزوده می‌شود تاوایی قوی‌تر شده است. در عوض در مرحله بلوغ اجرای بدون کوهستان تاوایی مثبت تضعیف و از مقدار بارش در منطقه زاگرس کاسته شده است. در مرحله زوال این اجرا، تاوایی مثبت در دشت‌های مرکزی ایران و شرق زاگرس شرایط را برای اشباع هوا و بارش بیشتر فراهم کرده است.

1 Holton



شکل ۷ مقادیر تاوایی (s^{-1} ۱۰$^{-۵}$×) چرخه عمر سامانه: ردیف اول اجرای مرجع ردیف دوم اجرای بدون ارتفاع

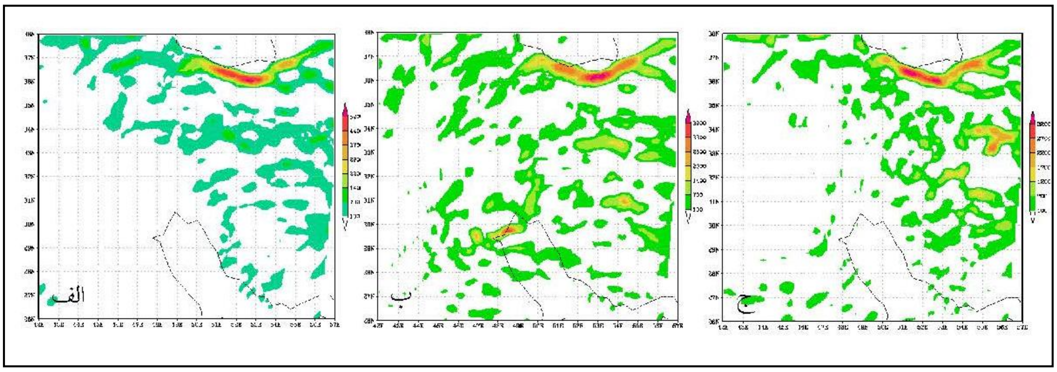
درصورتی‌که سطح زمین دارای پستی‌وبلندی باشد، اثر این ناهمواری‌ها را می‌توان در الگوهای هم‌گرایی- واگرایی مربوط به تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال مشاهده کرد. نقشه‌های شکل ۸ مقادیر همگرایی- واگرایی چرخه عمر را برای هر سه مرحله شکل‌گیری، بلوغ و زوال سامانه همرفتی برای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد. الگوی حاکم بر مراکز تاوایی برای میدان‌های هم‌گرایی نیز تقریباً به‌طور یکسان تکرار شده است. با حذف رشته‌کوه در اجرای دوم، نواحی مثبت و منفی تاوایی و هم‌گرایی غرب ایران کاملاً به‌هم‌خورده و هسته‌های مثبت و منفی در مناطق مرکزی و بعضاً شرقی ایران به‌طور کاملاً واضحی تقویت‌شده‌اند و نقشه‌ها نقش اساسی رشته‌کوه‌های زاگرس در الگوهای هم‌گرایی- واگرایی و تاوایی سطوح مختلف جو را نشان می‌دهند.



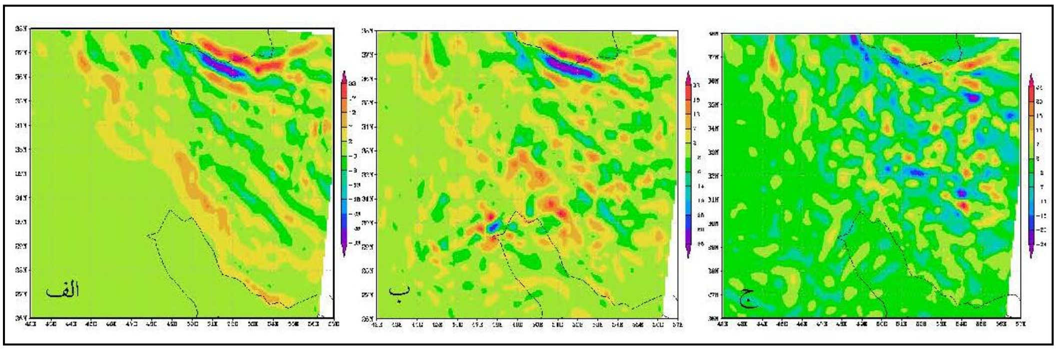
شکل ۸ مقادیر همگرایی ($\times 10^{2}\ s^{-1}$) چرخه عمر سامانه: ردیف اول اجرای مرجع ردیف دوم اجرا بدون ارتفاع

با توجه به نتایج بالا و مرور نقشه‌ها، الگوهای موجود در میدان‌های همگرایی- واگرایی هر دو اجرا برای مراحل چرخه عمر تقریباً شبیه میدان‌های تاوایی بوده است؛ به‌طوری‌که مراکز آن‌ها در مرحله شکل‌گیری اجرای حذف کوهستان از بین رفته‌اند؛ در مقابل در اجرای مرجع مقادیر مثبت ضعیفی از این مراکز شمال خلیج‌فارس را پوشش داده است. در مرحله بلوغ اجرای مرجع مقادیر مثبت به‌صورت نوارهای متناوبی از همگرایی و واگرایی (مثبت و منفی) از شمال زاگرس تا جنوب آن به وجود آمده است. درصورتی‌که در اجرای دوم هسته منفی در شمال خلیج‌فارس و دامنه‌های غربی زاگرس و هسته مثبت در دامنه‌های شرق زاگرس دیده می‌شود. در مرحله زوال سامانه همرفتی، مقادیر مثبت همگرایی اجرای بدون کوهستان تغییر کرده است و به سمت مناطق شرقی زاگرس جابجا شده‌اند (شکل ۸).

تغییر و جابجایی مراکز و میدان‌های تاوایی و همگرایی- واگرایی در نقشه‌های میدان تفاضلی (شکل‌های ۹ و ۱۰) نیز به‌خوبی مشاهده می‌شود. علت تغییر و جابجایی الگوها را می‌توان به اثر حذف رشته‌کوه‌های زاگرس به‌مثابه مانعی در مقابل جریان‌های جوی و درنتیجه افزایش سرعت جریان‌ها در نواحی مرکزی و شرقی ایران مربوط دانست.



شکل ۹ میدان تفاضلی تاوایی اجرای مرجع از اجرای بدون ارتفاع الف. مرحله شکل‌گیری ب. مرحله بلوغ ج. مرحله زوال



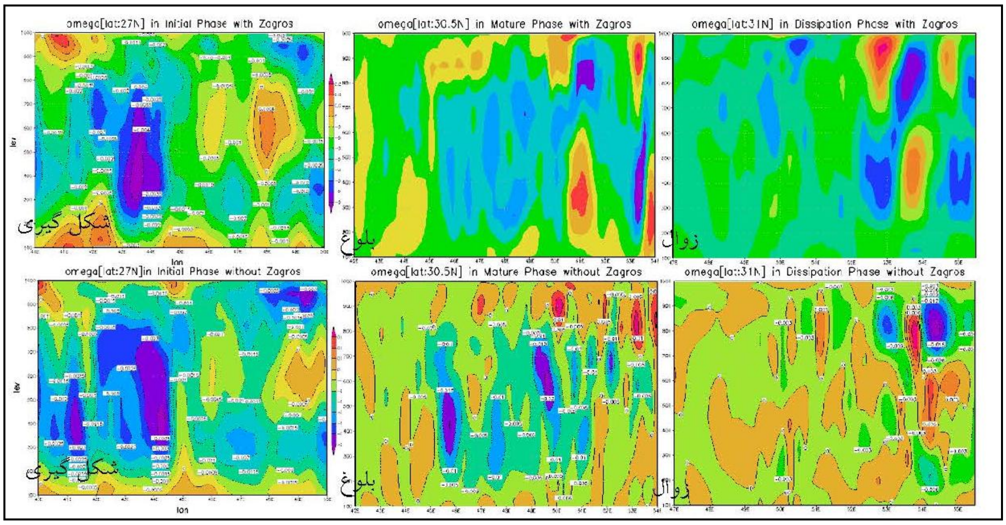
شکل ۱۰ میدان تفاضلی همگرایی اجرای مرجع از اجرای بدون ارتفاع الف. مرحله شکل‌گیری ب. مرحله بلوغ ج. مرحله زوال

سرعت قائم

شکل ۱۱ نیم‌رخ سرعت قائم چرخه عمر سامانه همرفتی میان‌مقیاس ۷ و ۸ دسامبر سال ۲۰۰۱ در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای هر مرحله از چرخه عمر سامانه با عرض جغرافیایی ثابت و طول جغرافیایی متغیر نشان می‌دهد. بررسی سرعت قائم مربوط به چرخه عمر سامانه بیانگر کاهش نسبی سرعت قائم پس از کاهش ارتفاع ناهمواری‌ها است. برش قائم امگا هر مرحله از سامانه نشان می‌دهد که اثر این رشته‌کوه‌ها نه‌تنها در سطوح زیرین، بلکه تا سطوح بالای جو نیز امتدادیافته است. سرعت قائم در مراحل چرخه عمر سامانه در اجرای بدون کوهستان در مقایسه با اجرای مرجع تقویت‌شده و به‌نوعی گسترش مکانی یافته است. تنها تفاوت سرعت قائم دو اجرا جابجایی به سمت شرق این پارامتر در اجرای بدون کوهستان می‌باشد.

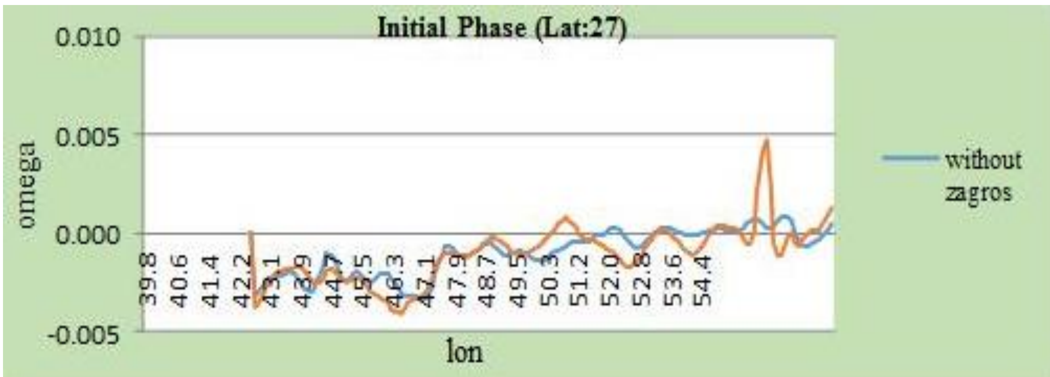
در مرحله شکل‌گیری سامانه ازآنجایی‌که طول جغرافیـایی از ۳۸ تـا ٤٦ درجـه شـرقی خـارج از مرزهـای غربی ایران است و ارتفاع ناهمواری‌ها کاهش نیافته است، بنابراین تغییری نیز در سرعت قـائم حاصـل نشـده

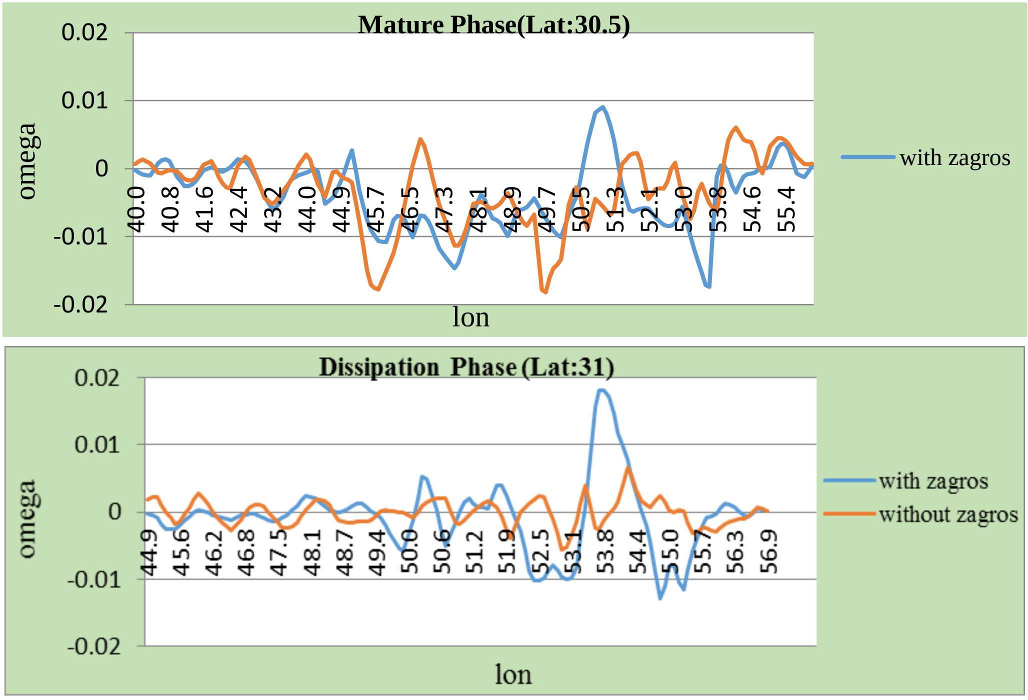
است. در برخی نقاط، تغییرات منفی نیز مشاهده می‌شود که ناشـی از تبعیـت مراکـز ایـن متغیرهـا از الگـوی ناهمواری‌ها است، به‌طوری‌که در این نواحی، حرکت‌های نزولی شدیدتری و درنتیجه سـرازیر شـدن جریـان هوا از روی کوهستان، در اجرای مرجع نسبت به اجرای کاهش ارتفاع ناهمواری‌ها مشاهده می‌شود.



شکل ۱۱ نیم‌رخ سرعت قائم رخداد ($pa\ s^{-1}$) در مراحل چرخه عمر: مرحله شکل‌گیری عرض ۲۷، بلوغ عرض ۳۰/۵ و مرحله زوال عرض ۳۱ درجه شمالی

شکل ۱۲ تغییرات امگا را در مراحل سه‌گانه چرخ عمر سامانه همرفتی را نشان می‌دهد که عرض جغرافیایی هر مرحله ثابت در نظر گرفته‌شده است. در اجرای دوم که ارتفاع کوهستان حذف‌شده است تغییرات منحنی این متغیر در طول جغرافیایی ٤٧ تا ٥٢ درجه کاملاً مشخص است که نشان‌دهنده تأثیر کوهستان بر سرعت قائم جریانات می‌باشد. تفاوت سرعت قائم اجرای بدون کوهستان نسبت به اجرای مرجع در مرحله بلوغ در عرض جغرافیایی ٤٥ تا ٥٤ (منطبق بر ارتفاعات زاگرس) و در مرحله زوال در عرض جغرافیایی ٥١ تا ٥٥/٥ درجه شرقی (منطبق بر دشت‌های مرکزی) بارزتر بوده است.





شکل ۱۲ تغییرات سرعت قائم در مراحل چرخه عمر سامانه همرفتی

۵. نتیجه‌گیری

در ایران موضوع وقوع مخاطرات طبیعی به‌ویژه سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس به علت افزایش تهدیدها و خسارات ناشی از آن‌ها از اهمیت بالایی برخورداراست. بدین منظور چرخه عمر سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس غرب ایران در دوره زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۵ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و شاخص تغییرات مساحت و آستانه‌های دمای درخشندگی ۲۲٤ و ۲٤۲ کلوین شناسایی گردید و تأثیرات ارتفاعات زاگرس بر چرخه عمر از طریق مدل RegCM4 موردبررسی قرار گرفت. با بررسی نتایج شبیه‌سازی‌های صورت گرفته و مقایسه آن‌ها با نتایج اجرای مرجع و مرور مطالعات نظری، می‌توان نتیجه گرفت که مدل RegCM در نشان دادن نقش رشته‌کوه‌های زاگرس در چرخه عمر سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس واقع در غرب ایران و کمیت‌های فیزیکی و دینامیکی مربوطه، موفق عمل می‌کند و کاربرد قابل قبولی دارد.

الگوی حاکم بر مراکز کمیت‌های تاوایی برای میدان‌های هم‌گرایی نیز تقریباً به‌طور یکسان تکرار شده است. با حذف رشته‌کوه در اجرای دوم، نواحی مثبت و منفی تاوایی و هم‌گرایی غرب ایران کاملاً به‌هم‌خورده و مراکز مثبت و منفی تاوایی و همگرایی- واگرایی در مناطق شرق زاگرس و بعضاً دشت‌های مرکزی ایران به‌طور کاملاً واضحی تقویت‌شده‌اند. الگوهای حاکم بر همگرایی- واگرایی هر دو اجرا برای مراحل چرخه عمر تقریباً شبیه میدان‌های تاوایی می‌باشند. در اجرای مرجع مراکزی از تاوایی، همگرایی-

واگرایی و سرعت قائم در زاگرس و غرب آن تشکیل که باعث بارش در این منطقه شده است. در مقابل در اجرای بدون کوهستان این مراکز به‌هم‌خورده و هسته بارش به شرق زاگرس و دشت‌های مرکزی جابجا شده است. این نتایج در کارهای سلطان‌زاده و همکاران (۱۳۸٦: ۵۰–۳۱) که به بررسی جریان‌های شرق زاگرس پرداخته‌اند نیز اثبات‌شده است و آن‌ها به این نتیجه رسیده‌اند که رشته‌کوه‌های زاگرس در الگوهای تاوایی و هم‌گرایی در سطوح پایین و همچنین بارش، خصوصاً در نواحی شرقی و بعضاً مرکزی ایران نقش دارند. همچنین علیزاده و همکاران (۱۳۸۷: ۹) نیز اثبات کردند با کاهش ارتفاع ناهمواری‌های البرز مقادیر دمای پتانسیل و سرعت قائم در پشت به باد کوه و همچنین بارش تجمعی در برخی نقاط کاهش می‌یابند.

در مرحله شکل‌گیری سامانه ازنظر میزان بارش تفاوت زیادی بین دو اجرا وجود ندارد و در اجرای حذف رشته‌کوه بارش در وسعت بیشتری رخ‌داده و عمدتاً به‌سوی شرق متمرکزشده است. این وضعیت در مرحله بلوغ کاملاً برهم‌خورده و نقش کوهستان در نحوه شکل‌گیری مراکز به‌خوبی مشاهده می‌شود و الگوهای تاوایی و همگرایی- واگرایی از الگوی ارتفاعات تبعیت کرده است.

کتابنامه

ایران‌نژاد، پرویز؛ فرهنگ، احمدی گیوی؛ روزبه، پازوکی؛ ۱۳۸۸. نقش روش‌های متفاوت پارامتر سازی همرفت در شبیه‌سازی میدان‌های دما و بارش زمستانی با مدل منطقه‌ای- اقلیمی RegCM در ایران. مجله فیزیک زمین و فضا. شماره ۱. صص ۱۰۱–۱۲۰.

بابائیان، ایمان؛ راحله، مدیریان؛ کریمیان، مریم؛ حبیبی، نوخندان؛ ۱۳۸٦. شبیه‌سازی بارش ماه‌های سرد سال‌های ۱۳۷٦ و۱۳۷۹با استفاده از مدل اقلیمی RegCM3. مجله جغرافیا و توسعه. شماره پیاپی ۱۰. صص ۷۲–۵۵.

تاج‌بخش، سحر؛ پروین، غفاریان؛ ابراهیم، میرزایی؛ ۱۳۸۸. روشی برای پیش‌بینی رخداد توفان‌های تندری با طرح دو بررسی موردی. مجله فیزیک زمین و فضا. دوره ۳۵. شماره ٤. صص ۱٦٦–۱٤۷.

حجازی زاده، زهرا؛ مصطفی، کریمی؛ پرویز، ضیاییان؛ سمیه، رفعتی؛ ۱۳۹۳. بررسی سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاس با استفاده از تصاویر دمای درخشندگی در جنوب غرب ایران. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. شماره ۳. صص ٦۹–٤۵.

زرین، آذر؛ ۱۳۸٦. تحلیل پرفشار جنب‌حاره‌ای تابستانه بر روی ایران، رساله دکتری جغرافیای طبیعی –گرایش اقلیم‌شناسی. راهنما: قائمی. دانشگاه تربیت مدرس تهران.

سلطان‌زاده، ایمان؛ فرهنگ، احمدی گیوی؛ پرویز، ایران‌نژاد؛ ۱۳۸٦. بررسی سه ماههٔ تأثیر رشته‌کوه‌های زاگرس بر جریان‌های میان‌مقیاس منطقه شرق زاگرس با استفاده از مدل منطقه‌ای RegCM. مجله فیزیک زمین و فضا. شماره ۱. صص ۵۰–۳۱.

علیزاده، امید؛ مجید آزادی؛ عباسعلی، علی‌اکبری بیدختی؛ ۱۳۸۷. بررسی نقش رشته‌کوه البرز در تقویت سامانه‌های همدیدی. مجله فیزیک زمین و فضا. شماره ۱. صص ۲٤–۹.

مدیریان، راحله؛ کریمیان، مریم؛ باباییان، ایمان؛ ۱۳۸٤. شبیه‌سازی بارش‌های مونسانی جنوب شرق ایران با استفاده از مدل اقلیمی RegCM3. همایش پیش‌بینی وضع هوا.

مدیریان، راحله؛ کریمیان، مریم؛ باباییان، ایمان؛ ۱۳۸۸. پیکربندی بهینه مدل RegCM3 برای شبیه‌سازی بارش و دما در فصل پاییز منطقه خراسان. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. شماره ۷۰. صص ۱۲۰–۱۰۷.

Ahmadi Givi, F., Irannejad, P., & Soltanzadeh, I. (2005). A study of the effects of Zagros mountain ranges on mesoscale westerly currents usin RegCM. *The First Iran-Korea Joint Workshop on Climate Modeling, November 16-17 2005*.

Banta, R. (1990). The role of mountain flows in making clouds. *Meteorological Monographs*, *23*, 229–283.

Barros, P., & Lettenmaier, P.(1994). Dynamic modelling of orographically induced precipitation. *Reviews of Geophysics*, *32*, 265–284.

Futyan, J. M., & Del Genio, A, D. (2007). Deep convective system evolution over Africa and the tropical Atlantic. *Journal of Climate*, *20*, 5041-5060.

Holton, J. R. (2004). *An introduction to dynamic meteorology* (4th ed.). The Netherlands: Elsevier Academic Press.

Inoue, T, D., Vila, K., Rajendran, A., Hhamada, X., Wu, A.,& Machado, T. (2009). Life cycle of deep convective systems over the Eastern Tropical Pacific observer by TRMM and GOES-W. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, *87* (A), 381-391.

Insel, N., Christopher, J., Poulsen, T., & Ehlers, A. (2009). Influence of the Andes Mountains on South American moisture transport, convection, and precipitation. *Climate Dynamic*,*19*, 143-159. DOI 10.1007/s00382-009-0637-1.

Morel, C., & Senesi, S. (2002). A climatology of mesoscale convective systems over Europe using satellite infrared imagery I: Methodology. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, *128*, 1953–1971.

Morel, C., & Senesi, S. (2002). A Climatology of Mesoscale Convective Systems over Europe using satellite infrared imagery *II:* Characteristics of European Mesoscale Convective Systems. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, *128*, 1973–1995.

Pastor, F., Gomez, I., & Estrella, M, J. (2010). Numerical study of the October 2007 flash flood in the Valencia region (Eastern Spain): the role of orography. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, *10*, 1331–1345.

Silva Dias, M., & Coauthors, A. (2002). Cloud and rain processes in a biosphere–atmosphere interaction context in the Amazon region. *Jornal of Geophys*, *107***,** 8072, doi:10.1029/2001JD000335.

Velasco, J., & Fritsch, M. (1987). Mesoscale convective complexes in the Americas. *Journal of Geophysical Research*, *92*, (8), 9591–9613.

Vila, D, A., Machado, T., Laurent, H., & Velasco, I. (2008). Forecast and Tracking the Evolution of Cloud Clusters (ForTraCC) Using Satellite Infrared Imagery: Methodology and Validation. *Weather and Forecasting*, *23*, 233-245. dio:10.1175/2007WAF2006121.

Wang, Y., Sen, O, L., & Wang, B. (2002). A highly resolved regional climate model and its simulation of the 1998 sever precipitation event over China, Part 1: Model description and verification of simulation. *Journal of Climate*, *19*, 1721-1738.